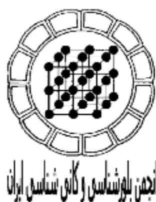
مجله
بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ اول، بهار ۹۹، از صفحهٔ ۱۸۵ تا ۱۹۸



سنگ‌نگاری، شیمی کانی و دما- فشارسنجی آمفیبولیت‌های مجموعه‌ی اللهیارلو، استان اردبیل- شمال‌غرب ایران

زهره سلیمی*، محسن موذن، رباب حاجی علی اوغلی

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(دریافت مقاله: ۹۸/۱/۲۸، نسخه نهایی: ۹۸/۵/۱)

چکیده: مجموعه افیولیتی- دگرگونی اللهیارلو منسوب به پیش از کرتاسه در مرکز تاقدیس اللهیارلو در شمال غرب ایران و شمال شرق مشگین شهر رخنمون دارد. این مجموعه شامل انواع سنگ‌های دگرگونی چون شیست، گنیس، آمفیبولیت و متادیاباز به همراه قطعه-هایی از سرپانتینیت و برش‌های زمین‌ساختی گابرو، دونیت، مرمر و دیاباز است. آمفیبولیت‌های این مجموعه شامل آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت هستند.کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده‌ی آمفیبولیت‌ها شامل هورنبلند و پلاژیوکلاز هستند و تیتانیت، زیرکن، کلسیت، اپیدوت و اکسیدهای آهن به عنوان کانی‌های فرعی حضور دارند. در گارنت آمفیبولیت‌ها، افزون بر این کانی‌ها، گارنت نیز حضور دارد. بافت‌های شکفته بلوری و نخ شکفتی از بافت‌های معمول در این سنگ‌هاست. بر اساس نتایج تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی در آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها، ترکیب آمفیبول‌ها دارای گستره ترکیبی منیزیو هورنبلند و چرماکیت، ترکیب پلاژیوکلاز دارای گستره آندزین و آلبیت است و در گارنت آمفیبولیت‌ها، گارنت ترکیب غنی از آلماندین دارد. بر اساس تغییرات مقدار عنصر Ti نسبت به Al_t، آمفیبول‌های مورد بررسی در آمفیبولیت‌های مجموعه دگرگونی اللهیارلو، از آمفیبول‌های فشار متوسط هستند. نتایج دما-فشارسنجی این سنگ‌ها بر اساس شیمی آمفیبول، گارنت و پلاژیوکلاز بیانگر فشار (p) حدود ۸ کیلوبار و دمای (T) حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد است. بنابراین با روند دگرگونی بارووین P/T متوسط که نشانگر مناطق ضخیم شدگی پوسته ای (جزایر قوسی و یا قوس آتشفشانی) و یا مناطق برخوردی است همخوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: *شیمی کانی؛ دما- فشارسنجی؛ آمفیبولیت؛ اللهیارلو؛ شمال‌غرب ایران.*

مقدمه

رخنمون به نسبت کوچکی از سنگ‌های دگرگونی با ترکیب سنگ مادر اولیه رسی، نیمه رسی و مافیک همراه با هارزبورژیت سرپانتینی شده، گابرو و دیاباز بر سطح فرسایش یافته در محور تاقدیسی با روند NW-SE در منطقه اللهیارلو در شمال غرب ایران برونزد دارند که به عنوان مجموعه اللهیارلو شناخته شده است [۱]. این سنگ‌های پیش از کرتاسه بوسیله واحدهای آهکی و آتشفشانی کرتاسه پوشیده شده‌اند. این مجموعه در مکانی مهم از نظر با جایگاه زمین درزهای پالئوتتیس و نئوتتیس در شمال غربی ایران، قفقاز و شرق ترکیه قرار دارد. برخی پژوهشگران مجموعه اللهیارلو را بعنوان آمیزه افیولیتی در نظر می‌گیرند. آنها عمدتاً این سنگ‌ها را بیشتر بعنوان ادامه جنوبی کمربند افیولیتی سوان آکرا از قفقاز کوچک در نظر می‌گیرند [۲-۷]. در حالی که برخی [۸] مجموعه اللهیارلو را بعنوان ادامه افیولیت مشهد [۹] و شاندرمن و مجموعه ماسوله [۱۰،۱۱] در راستای زمین درز پالئوتتیس در شمال ایران در نظر می‌گیرند. برخی اجزای افیولیتی (چون بازالت‌های بالشتی و دایک‌های صفحه‌ای) در این مجموعه دیده نمی شوند و پریدوتیت‌های سرپانتینتی شده رخنمون محدودی دارند. سنگ‌های دگرگونی روی آمیزه افیولیتی رانده شده‌اند.

*نویسنده مسئول، تلفن: ۳۱۹۲۷۳۲ -۰۴۱۳، نمابر: ۳۳۵۶۰۲۹ - ۰۴۱۳، پست الکترونیکی: Venussalimi@yahoo.com

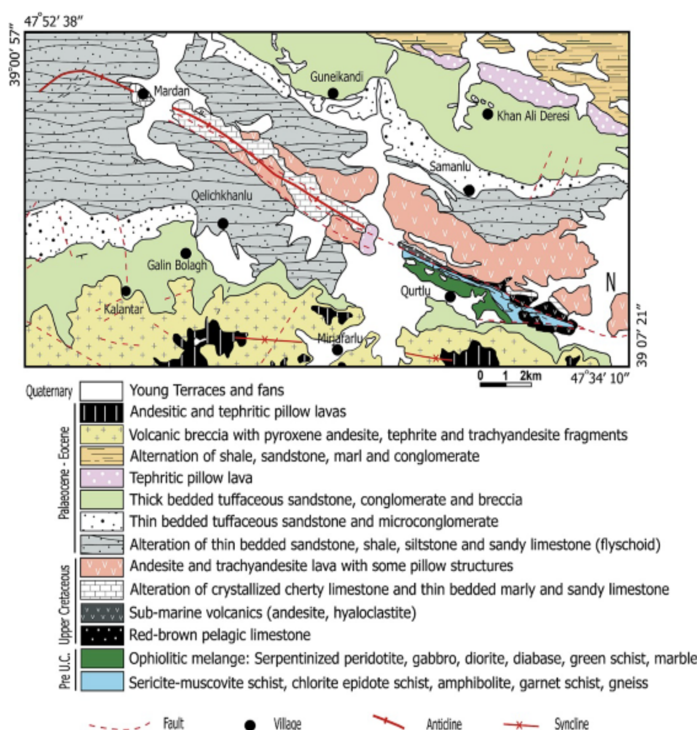
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

هیچ گزارشی در مورد سنگ‌شناسی زمین گاه‌شناسی سنگ‌های افیولیتی و سنگ‌های دگرگونی این منطقه موجود نیست. باباخانی و ناظر [۱] فاز کوهزایی سیمرین پیشین را برای دگرگونی در منطقه در نظر می‌گیرند. استمپفلی و همکارش [۱۲] یک نوار شامل سنگ‌های پوسته قاره‌ای با سن سیمیرین از گندونا طی پرمین پسین در نظر گرفتند که طی تریاس پسین با اوراسیا برخورد کرده و افیولیت‌های نئوتتیس در شمال ایران را تشکیل داده است. در حالی که یافته‌های دیگر نشان می‌دهد که قطعات قاره‌ای سیمیرین در راستای زمین درز ازمیر-آنکارا-ارزنجان در منطقه رفاهیه در شرق ترکیه وجود ندارد [۱۳]، که به احتمال زیاد ادامه زمین درز در شمال غرب ایران است [۱۴] که توسط افیولیت‌های نئوتتیس مشخص شده است. باباخانی و ناظر [۱] چین خوردگی رسوب‌های کرتاسه و به دنبال آن فعالیت ماگمایی منطقه را به کوهزایی لارامید نسبت دادند و برزگر و پورکرمانی [۱۵] چین‌خوردگی پالئوسن به ائوسن ماسه سنگ و کنگلومرا در منطقه را به عنوان نتیجه کوهزایی آلپین پسین در نظر می‌گیرند. سنگ‌های دگرگونی قدیمی‌ترین واحدهای منطقه اللهیارلو هستند. که تا رخساره آمفیبولیت دگرگون شده‌اند. با بررسی شرایط دگرگونی آمفیبولیت‌ها می‌توان رخدادهای زمین دینامیکی پیش آمده برای قسمتی از پوسته زمین را مشخص کرد. آمفیبولیت‌ها به بازخوانی دگرگونی و تکامل پوسته کمک می‌کنند [۱۶، ۱۷]. در این پژوهش، سنگ‌نگاری، شیمی‌کانی‌ها و دما فشارسنجی سنگ‌های آمفیبولیتی این مجموعه بررسی شده است. هدف از این پژوهش تعیین دما و فشار دگرگونی و در نتیجه مشخص کردن شیب دگرگونی و محیط زمین‌ساختی تشکیل آمفیبولیت‌ها با استفاده از شیمی کانی‌هاست.

زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی به دلیل قرارگیری در محل ظاهری تلاقی زمین درز پالئوتتیس و نئوتیس، دارای پیچیدگی بسیار نسبت به سایر مناطق زمین‌ساختی ایران است. منطقه اللهیارلو در شمال غرب ایران بین کمربند کوهزایی قفقاز به طرف شمال و کمربند کوهزایی زاگرس به سمت جنوب قرار دارد. افیولیت اللهیارلو در شمال قطعه اهر واقع است. این قطعه به علت فشار رو به شمال صفحه عربی، در حال فشردگی است [۱۸]. کهن-ترین سنگ‌های منطقه مورد بررسی مجموعه افیولیتی اللهیارلو با سن پیش از کرتاسه است که برونزد آن در مرکز تاقدیس اللهیارلو با روند شمال غرب- جنوب شرق رخنمون یافته است (شکل ۱). مجموعه افیولیتی (سرپانتینیت، گابرو، متاگابرو و دیاباز) و دگرگونی (شیست‌ها، گنیس‌ها، آمفیبولیت و کوارتزیت) منسوب به پیش از کرتاسه در راستای گسل‌های بزرگی در مرکز تاقدیس اللهیارلو رخنمون یافته‌اند (شکل ۱).



شکل ۱ نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه اللهیارلو برگرفته از نقشه لاهرود [۱].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

آمفیبولیت‌ها، سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های رسوبی دیگر که در رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند احتمالاً در انتقال و فرارانش افیولیت تشکیل شده‌اند. سن فرارانش افیولیت در منطقه اللهیارلو بر اساس آهک‌های ریفی کنیاسین کرتاسه پسین فرض می‌شود [۱]. واحدهای دگرگونی منطقه شامل - مجموعه‌ای از سنگ‌های مسکویت شیست، کلریت- اپیدوت شیست، گنیس، آمفیبولیت، کوارتزیت و متادیاباز است. این سنگ‌ها به احتمال زیاد از قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه محسوب می‌شوند [۱]. این سنگ‌های پیش از کرتاسه بطور ناپیوسته بوسیله سنگ‌های آهکی و واحدهای آتشفشانی پوشیده شده‌اند. آمفیبولیت‌ها به صورت پراکنده در مجموعه دگرگونی رخنمون دارند. رخنمون آمفیبولیت‌ها به صورت عدسی شکل و نیز کشیده شده است. خطوارگی فراگیر توسط تناوبی از سطوح تیره غنی از آمفیبول و سطوح روشن غنی از پلاژیوکلاز و کمتر کوارتز مشخص می‌شود. این سنگ‌ها از نظر داشتن مقادیر زیادی آمفیبول و پلاژیوکلاز و مقادیر کم کوارتز و نداشتن کانی‌های رسوبی مانند کلسیت دارای خاستگاه آذرین هستند.

روش پژوهش

پس از بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های سنگ‌نگاری، تجزیه‌های شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده آمفیبولیت‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی JEOL JXA-8530F با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ KV، جریان پرتو ۱۵nA و زمان شمارش ۱۰ ثانیه برای اوج و ۵ ثانیه برای پس زمینه، به جز Na و K با زمان ۵ ثانیه برای اوج و ۲٫۵ ثانیه برای پس زمینه، در موسسه پژوهشی زمین‌شناسی مانستر کشور آلمان انجام شد. داده‌های معرف تجزیه ریزپردازش کانی‌ها در جدول‌های ۱تا ۳ آمده است. قطر پرتو برای کانی‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول ۵ میکرون بود. استانداردهای طبیعی و مصنوعی برای واسنجی دستگاه بکار گرفته شدند. داده‌های خام با نرم افزار ZAF پردازش شدند. علایم اختصاری به کار رفته برای اسامی کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۹] است. نسبت یونی عناصر Fe^{2+}/Fe^{3+} در ساختار کانی‌ها، با استفاده از روش عنصرسنجی [۲۰] محاسبه شده است.

جدول ۱ داده‌های تجزیه ریزپردازشی و محاسبه‌ی فرمول ساختمانی آمفیبول‌ها بر اساس ۲۳ اکسیژن.

ZS-1-14	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO_2	۴۱٫۵۴	۴۱٫۹۸	۴۱٫۱۹	۴۲٫۲۹	۴۱٫۵۷	۴۴٫۲۵	۴۵٫۱۸	۴۲٫۳۴	۴۵٫۷۴	۴۲٫۱۸
TiO_2	۰٫۵۳	۰٫۶۱	۰٫۴۸	۰٫۵۱	۰٫۶۰	۰٫۴۰	۰٫۴۲	۰٫۵۸	۰٫۳۷	۰٫۵۸
Al_2O_3	۱۶٫۶۴	۱۶٫۰۶	۱۶٫۸۱	۱۵٫۱۶	۱۶٫۲۴	۱۲٫۹۲	۱۰٫۹۳	۱۵٫۵۸	۱۰٫۵۶	۱۶٫۰۸
FeO	۱۶٫۰۵	۱۶٫۷۱	۱۶٫۸۵	۱۶٫۳۰	۱۶٫۷۳	۱۶٫۱۳	۱۵٫۲۱	۱۶٫۳۰	۱۴٫۵۸	۱۵٫۸۷
MnO	۰٫۲۷	۰٫۲۶	۰٫۲۰	۰٫۳۰	۰٫۲۶	۰٫۲۹	۰٫۳۰	۰٫۳۹	۰٫۳۳	۰٫۲۳
MgO	۷٫۸۴	۸٫۱۳	۷٫۸۴	۸٫۳۸	۷٫۶۶	۹٫۷۶	۱۰٫۷۰	۸٫۵۱	۱۰٫۳۶	۸٫۱۰
CaO	۱۰٫۹۶	۱۱٫۴۲	۱۱٫۳۶	۱۱٫۳۶	۱۱٫۳۳	۱۱٫۵۹	۱۱٫۳۷	۱۱٫۵۲	۱۱٫۴۱	۱۱٫۵۹
Na_2O	۱٫۳۲	۱٫۲۵	۱٫۳۰	۱٫۱۷	۱٫۱۰	۱٫۰۲	۰٫۸۹	۱٫۲۰	۰٫۹۱	۱٫۲۱
K_2O	۰٫۶۳	۰٫۵۵	۰٫۶۹	۰٫۶۶	۰٫۶۷	۰٫۴۳	۰٫۳۲	۰٫۶۸	۰٫۲۸	۰٫۶۶
Cr_2O_3	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۱	۰٫۰۰
NiO	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰
مجموع	۹۸٫۲۸	۹۹٫۴۷	۹۹٫۲۲	۹۸٫۶۲	۹۸٫۵۹	۹۹٫۳۸	۹۸٫۰۱	۹۹٫۷۱	۹۷٫۴۷	۹۸٫۸۱
Si	۶٫۲۱	۶٫۲۲	۶٫۱۳	۶٫۳۲	۶٫۲۳	۶٫۵۳	۶٫۷۲	۶٫۲۶	۶٫۸۳	۶٫۲۹
Al iv	۱٫۷۹	۱٫۷۸	۱٫۸۷	۱٫۶۸	۱٫۷۷	۱٫۴۷	۱٫۲۸	۱٫۷۴	۱٫۱۷	۱٫۷۱
Al	۲٫۹۳	۲٫۸۱	۲٫۹۵	۲٫۶۷	۲٫۸۷	۲٫۲۵	۱٫۹۲	۲٫۷۲	۱٫۸۶	۲٫۸۳
Al vi	۱٫۱۵	۱٫۰۳	۱٫۰۸	۰٫۹۹	۱٫۰۹	۰٫۷۸	۰٫۶۴	۰٫۹۸	۰٫۶۹	۱٫۱۲
Ti	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۷
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Fe^{3+}	۰٫۵۱	۰٫۵۲	۰٫۵۴	۰٫۴۶	۰٫۴۶	۰٫۵۶	۰٫۶۰	۰٫۵۰	۰٫۴۲	۰٫۲۷
Fe^{2+}	۱٫۵۰	۱٫۵۵	۱٫۵۵	۱٫۵۸	۱٫۶۳	۱٫۴۳	۱٫۲۹	۱٫۵۲	۱٫۴۴	۱٫۷۱
Mn	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳
Mg	۱٫۷۵	۱٫۸۰	۱٫۷۴	۱٫۸۷	۱٫۷۱	۲٫۱۵	۲٫۳۷	۱٫۸۸	۲٫۳۷	۱٫۸۰
Ni	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Ca	۱٫۷۶	۱٫۸۱	۱٫۸۱	۱٫۸۲	۱٫۸۲	۱٫۸۲	۱٫۸۱	۱٫۸۳	۱٫۸۳	۱٫۸۵
Na	۰٫۳۸	۰٫۳۶	۰٫۳۸	۰٫۳۴	۰٫۳۲	۰٫۲۹	۰٫۲۶	۰٫۳۴	۰٫۲۶	۰٫۳۵
K	۰٫۱۲	۰٫۱۰	۰٫۱۳	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۱۳	۰٫۰۵	۰٫۱۳

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

ادامه جدول ۱

ZS-3B	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO_2	۴۳٫۹۶	۳۹٫۸۳	۴۳٫۳۳	۴۳٫۷۱	۴۲٫۶۴	۴۳٫۶۰	۴۱٫۳۴	۴۳٫۰۵	۳۸٫۶۶	۴۰٫۹۶
TiO_2	۰٫۲۶	۰٫۵۷	۰٫۴۲	۰٫۲۶	۰٫۴۹	۰٫۳۱	۰٫۴۷	۰٫۳۸	۰٫۶۰	۰٫۶۴
Al_2O_3	۱۰٫۲۷	۱۳٫۵۷	۱۱٫۶۸	۱۱٫۰۱	۱۲٫۱۱	۱۰٫۹۹	۱۴٫۰۹	۱۲٫۱۸	۱۴٫۴۳	۱۳٫۹۷
FeO	۱۸٫۳۹	۲۰٫۵۹	۱۹٫۲۵	۱۹٫۷۲	۱۹٫۱۷	۱۹٫۵۳	۲۰٫۶۰	۱۹٫۲۸	۲۳٫۴۱	۱۹٫۹۹
MnO	۰٫۳۱	۰٫۲۹	۰٫۳۱	۰٫۳۶	۰٫۲۹	۰٫۲۲	۰٫۳۵	۰٫۳۵	۰٫۲۳	۰٫۳۰
MgO	۹٫۶۴	۷٫۳۹	۸٫۵۷	۸٫۳۶	۸٫۲۶	۸٫۵۵	۷٫۲۰	۸٫۱۹	۵٫۲۷	۷٫۰۰
CaO	۱۱٫۳۸	۱۰٫۹۳	۱۰٫۳۴	۱۱٫۰۶	۱۱٫۱۱	۱۰٫۹۹	۱۱٫۰۴	۱۱٫۳۹	۱۱٫۰۴	۱۱٫۰۰
Na_2O	۲٫۷۵	۳٫۱۵	۲٫۷۵	۲٫۸۲	۲٫۹۰	۲٫۹۲	۳٫۱۹	۲٫۷۷	۳٫۵۵	۳٫۲۵
K_2O	۰٫۱۸	۰٫۳۴	۰٫۲۶	۰٫۲۵	۰٫۱۷	۰٫۴۴	۰٫۲۳	۰٫۲۵	۰٫۳۸	۰٫۲۸
Cr_2O_3	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۹	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱
NiO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۹	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۲
مجموع	۹۹٫۴۵	۹۹٫۱۴	۹۹٫۵۰	۱۰۰٫۰۱	۹۹٫۴۳	۹۹٫۹۱	۱۰۰٫۹۳	۱۰۰٫۱۲	۹۹٫۸۹	۹۹٫۶۲
Si	۶٫۶۲	۶٫۱۱	۶٫۵۱	۶٫۵۹	۶٫۴۵	۶٫۵۸	۶٫۲۱	۶٫۴۸	۶٫۰۰	۶٫۲۴
Al(iv)	۱٫۳۸	۱٫۸۹	۱٫۴۹	۱٫۴۱	۱٫۵۵	۱٫۴۲	۱٫۷۹	۱٫۵۲	۲٫۰۰	۱٫۷۶
Al	۱٫۸۲	۲٫۴۵	۲٫۰۷	۱٫۹۶	۲٫۱۶	۱٫۹۶	۲٫۴۹	۲٫۱۶	۲٫۶۴	۲٫۵۱
Al vi	۰٫۴۵	۰٫۵۶	۰٫۵۷	۰٫۵۴	۰٫۶۱	۰٫۵۴	۰٫۷۰	۰٫۶۴	۰٫۶۴	۰٫۷۵
Ti	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۰۷
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe^{3+}	۰٫۳۶	۰٫۶۰	۰٫۶۴	۰٫۳۶	۰٫۳۳	۰٫۳۲	۰٫۴۶	۰٫۲۷	۰٫۴۱	۰٫۲۶
Fe^{2+}	۱٫۹۶	۲٫۰۵	۱٫۷۷	۲٫۱۳	۲٫۰۹	۲٫۱۵	۲٫۱۳	۲٫۱۶	۲٫۶۳	۲٫۲۹
Mn	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴
Mg	۲٫۱۷	۱٫۶۹	۱٫۹۲	۱٫۸۸	۱٫۸۶	۱٫۹۲	۱٫۶۱	۱٫۸۴	۱٫۲۲	۱٫۵۹
Ni	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰
Ca	۱٫۸۴	۱٫۸۰	۱٫۶۶	۱٫۷۹	۱٫۸۰	۱٫۷۸	۱٫۷۸	۱٫۸۴	۱٫۸۴	۱٫۸۰
Na	۰٫۸۰	۰٫۹۴	۰٫۸۰	۰٫۸۲	۰٫۸۵	۰٫۸۵	۰٫۹۳	۰٫۸۱	۱٫۰۷	۰٫۹۶
K	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۸	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۵

ادامه جدول ۱

Zs-X43	**۱**	**۲**	**۳**	**۴**	**۵**	**۶**	**۷**	**۸**	**۹**	**۱۰**
SiO_2	۴۵٫۲۶	۴۵٫۰۹	۴۵٫۴۵	۴۵٫۸۴	۴۵٫۲۵	۴۷٫۳۹	۴۷٫۸۰	۴۴٫۷۷	۴۵٫۲۹	۴۷٫۸۹
TiO_2	۰٫۴۸	۰٫۵۹	۰٫۳۵	۰٫۴۳	۰٫۶۱	۰٫۳۱	۰٫۲۸	۰٫۶۶	۰٫۴۵	۰٫۳۵
Al_2O_3	۱۲٫۰۸	۱۲٫۰۷	۱۱٫۶۵	۱۱٫۲۵	۱۱٫۶۷	۹٫۵۱	۹٫۴۴	۱۲٫۰۹	۱۲٫۰۰	۹٫۰۵
FeO	۱۶٫۵۳	۱۶٫۲۸	۱۶٫۶۳	۱۶٫۹۰	۱۶٫۳۰	۱۵٫۲۶	۱۵٫۱۸	۱۶٫۵۰	۱۶٫۳۲	۱۴٫۸۳
MnO	۰٫۲۵	۰٫۲۹	۰٫۳۴	۰٫۲۶	۰٫۳۸	۰٫۲۲	۰٫۳۱	۰٫۳۲	۱۰٫۲	۰٫۳۰
MgO	۹٫۶۲	۹٫۵۷	۱۰٫۰۶	۱۰٫۱۶	۹٫۶۸	۱۰٫۸۷	۱۱٫۵۶	۹٫۷۴	۹٫۷۵	۱۱٫۳۸
CaO	۱۱٫۶۲	۱۱٫۵۴	۱۱٫۹۷	۱۱٫۷۰	۱۱٫۷۲	۱۲٫۰۹	۱۲٫۲۳	۱۱٫۷۰	۱۱٫۶۷	۱۲٫۰۲
Na_2O	۱٫۱۲	۱٫۳۱	۱٫۲۶	۰٫۹۵	۱٫۲۲	۰٫۹۲	۰٫۸۰	۱٫۲۸	۱٫۲۸	۰٫۸۵
K_2O	۰٫۵۷	۰٫۷۳	۰٫۶۴	۰٫۴۱	۰٫۶۴	۰٫۲۷	۰٫۴۳	۰٫۷۲	۰٫۵۹	۰٫۳۸
Cr_2O_3	۰٫۰۳	۰٫۱۵	۰٫۱۲	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۰٫۰۵
NiO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۱	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۱۰
مجموع	۹۹٫۹۶	۱۰۰٫۰۲	۱۰۱٫۰۰	۱۰۰٫۶۲	۹۹٫۷۸	۹۹٫۲۰	۱۰۰٫۴۵	۱۰۰٫۳۲	۹۹٫۹۰	۹۹٫۴۵
Si	۶٫۶۷	۶٫۶۶	۶٫۶۶	۶٫۷۰	۶٫۶۹	۶٫۹۹	۶٫۹۵	۶٫۶۰	۶٫۶۸	۷٫۰۳
Al iv	۱٫۳۳	۱٫۳۴	۱٫۳۴	۱٫۳۰	۱٫۳۱	۱٫۰۱	۱٫۰۵	۱٫۴۰	۱٫۳۲	۰٫۹۷
Al	۲٫۱۰	۲٫۱۰	۲٫۰۱	۱٫۹۴	۲٫۰۳	۱٫۶۵	۱٫۶۲	۲٫۱۰	۲٫۰۹	۱٫۵۷
Al vi	۰٫۷۶	۰٫۷۶	۰٫۶۷	۰٫۶۳	۰٫۷۳	۰٫۶۵	۰٫۵۷	۰٫۷۰	۰٫۷۶	۰٫۶۰
Ti	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۴
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Fe^{3+}	۰٫۳۶	۰٫۲۵	۰٫۳۴	۰٫۵۵	۰٫۲۵	۰٫۱۵	۰٫۲۹	۰٫۳۴	۰٫۲۹	۰٫۱۹
Fe^{2+}	۱٫۶۷	۱٫۷۶	۱٫۷۰	۱٫۵۱	۱٫۷۷	۱٫۷۴	۱٫۵۶	۱٫۶۹	۱٫۷۳	۱٫۶۳
Mn	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴
Mg	۲٫۱۱	۲٫۱۱	۲٫۲۰	۲٫۲۱	۲٫۱۳	۲٫۳۹	۲٫۵۱	۲٫۱۴	۲٫۱۴	۲٫۴۹
Ni	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Ca	۱٫۸۳	۱٫۸۳	۱٫۸۸	۱٫۸۳	۱٫۸۶	۱٫۹۱	۰٫۹۱	۱٫۸۵	۱٫۸۴	۱٫۸۹
Na	۰٫۳۲	۰٫۳۷	۰٫۳۶	۰٫۲۷	۰٫۳۵	۰٫۲۶	۰٫۲۳	۰٫۳۷	۰٫۳۷	۰٫۲۴
K	۰٫۱۱	۰٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۰۸	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۱۳	۰٫۱۱	۰٫۰۷

جدول ۲ داده‌های معرف تجزیه ریزپردازش و محاسبه‌ی فرمول ساختمانی گارنت بر اساس ۱۲ اکسیژن.

ZS-1-14	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO_2	۳۷٫۷۴	۳۷٫۹۵	۳۷٫۶۶	۳۷٫۸۷	۳۷٫۷۹	۳۷٫۷۳	۳۷٫۶۷	۳۷٫۵۹	۳۷٫۴۱	۳۷٫۵۱
TiO_2	۰٫۱۳	۰٫۱۱	۰٫۲۰	۰٫۱۲	۰٫۱۹	۰٫۱۶	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۱۵	۰٫۲۰
Al_2O_3	۲۱٫۶۹	۲۱٫۸۴	۲۱٫۶۲	۲۱٫۷۱	۲۱٫۶۸	۲۱٫۴۹	۲۱٫۶۴	۲۱٫۶۰	۲۱٫۶۷	۲۱٫۴۸
Cr_2O_3	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱
FeO	۲۷٫۰۱	۲۷٫۰۱	۲۶٫۷۷	۲۷٫۱۶	۲۷٫۱۴	۲۶٫۶۹	۲۷٫۳۰	۲۷٫۰۹	۲۷٫۴۱	۲۶٫۵۸
MnO	۲٫۶۶	۱٫۱۳	۱٫۵۸	۱٫۲۷	۱٫۶۵	۲٫۹۱	۱٫۱۷	۱٫۸۱	۱٫۹۱	۱٫۹۹
MgO	۲٫۶۴	۳٫۲۶	۳٫۰۹	۳٫۲۲	۲٫۷۹	۲٫۵۳	۳٫۱۸	۲٫۹۴	۲٫۸۷	۲٫۷۸
CaO	۸٫۸۷	۹٫۶۴	۹٫۴۶	۹٫۱۴	۹٫۳۹	۸٫۷۵	۹٫۲۶	۸٫۷۷	۸٫۸۶	۹٫۲۵
مجموع	۱۰۰٫۷۶	۱۰۰٫۹۳	۱۰۰٫۴۰	۱۰۰٫۴۹	۱۰۰٫۶۳	۱۰۰٫۲۷	۱۰۰٫۳۵	۹۹٫۹۱	۱۰۰٫۲۸	۹۹٫۸۰
Si	۲٫۹۷	۲٫۹۶	۲٫۹۶	۲٫۹۷	۲٫۹۷	۲٫۹۹	۲٫۹۶	۲٫۹۷	۲٫۹۵	۲٫۹۷
Ti	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Al	۲٫۰۱	۲٫۰۱	۲٫۰۰	۲٫۰۱	۲٫۰۱	۲٫۰۰	۲٫۰۱	۲٫۰۱	۲٫۰۲	۲٫۰۱
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe^{3+}	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۲
Fe^{2+}	۱٫۷۴	۱٫۷۱	۱٫۷۱	۱٫۷۵	۱٫۷۵	۱٫۷۶	۱٫۷۴	۱٫۷۷	۱٫۷۵	۱٫۷۴
Mn	۰٫۱۸	۰٫۰۷	۰٫۱۱	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۲۰	۰٫۰۸	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۳
Mg	۰٫۳۱	۰٫۳۸	۰٫۳۶	۰٫۳۸	۰٫۳۳	۰٫۳۰	۰٫۳۷	۰٫۳۵	۰٫۳۴	۰٫۳۳
Ca	۰٫۷۵	۰٫۸۱	۰٫۸۰	۰٫۷۷	۰٫۷۹	۰٫۷۴	۰٫۷۸	۰٫۷۴	۰٫۷۵	۰٫۷۹
Alm	۵۸٫۵۳	۵۷٫۵۵	۵۷٫۴۷	۵۸٫۷۱	۵۸٫۸۳	۵۸٫۷۶	۵۸٫۵۴	۵۹٫۳۵	۵۸٫۹۹	۵۸٫۲۰
Sps	۵٫۹۵	۲٫۵۱	۳٫۵۴	۲٫۸۴	۳٫۶۴	۶٫۵۱	۲٫۶۲	۴٫۰۷	۴٫۳۱	۴٫۴۸
Prp	۱۰٫۴۰	۱۲٫۷۸	۱۲٫۱۸	۱۲٫۶۵	۱۰٫۹۶	۹٫۹۶	۱۲٫۵۶	۱۱٫۶۳	۱۱٫۴۰	۱۱٫۰۱
Grs	۲۴٫۶۸	۲۶٫۴۴	۲۶٫۱۱	۲۵٫۳۷	۲۶٫۱۳	۲۴٫۶۹	۲۵٫۵۴	۲۴٫۶۶	۲۴٫۵۴	۲۵٫۹۹
Adr	۰٫۴۳	۰٫۷۲	۰٫۶۸	۰٫۴۳	۰٫۳۹	۰٫۰۸	۰٫۷۳	۰٫۲۹	۰٫۷۶	۰٫۳۲

جدول ۳ داده‌های تجزیه ریزپردازشی و محاسبه‌ی فرمول ساختمانی پلاژیوکلازها بر اساس ۱۲ اکسیژن.

Zs-1-14	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO_2	۵۹٫۴۸	۵۸٫۲۳	۵۹٫۴۸	۶۰٫۷۳	۵۹٫۱۶	۵۸٫۴۳	۵۹٫۲۹	۵۸٫۹۳	۵۸٫۵۰	۵۷٫۷۶
TiO_2	۰٫۰۰	۰٫۱۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al_2O_3	۲۵٫۱۶	۲۵٫۸۱	۲۵٫۳۸	۲۴٫۳۹	۲۴٫۵۸	۲۵٫۳۰	۲۴٫۹۴	۲۵٫۲۴	۲۵٫۲۱	۲۵٫۵۸
Cr_2O_3	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶
Fe_2O_3	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۱۶	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۰۹	۰٫۰۲
FeO	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
MnO	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۶
MgO	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰
CaO	۶٫۷۲	۷٫۹۹	۷٫۰۴	۶٫۱۸	۷٫۱۷	۷٫۴۱	۶٫۶۹	۷٫۲۴	۷٫۴۲	۷٫۹۸
Na_2O	۷٫۸۶	۷٫۰۱	۷٫۳۴	۸٫۰۷	۷٫۶۰	۷٫۵۶	۷٫۷۰	۷٫۵۴	۷٫۳۴	۷٫۴۶
K_2O	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۱۳	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۱۱	۰٫۰۳	۰٫۰۴
مجموع	۹۹٫۴۱	۹۹٫۳۶	۹۹٫۳۰	۹۹٫۶۱	۹۸٫۷۲	۹۸٫۹۶	۹۹٫۲۱	۹۹٫۲۶	۹۸٫۶۳	۹۸٫۹۶
Si	۲٫۶۶	۲٫۶۲	۲٫۶۷	۲٫۷۱	۲٫۶۷	۲٫۶۳	۲٫۶۶	۲٫۶۵	۲٫۶۵	۲٫۶۰
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al	۱٫۳۳	۱٫۳۷	۱٫۳۴	۱٫۲۸	۱٫۳۱	۱٫۳۴	۱٫۳۲	۱٫۳۴	۱٫۳۴	۱٫۳۶
Fe_{3+}	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۲۳	۰٫۰۰۵۵	۰٫۰۰۵۰	۰٫۰۰۵۲	۰٫۰۰۳۲	۰٫۰۰۰۷
Fe_{2+}	۰٫۰۰	۰٫۰۰۳۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰۱۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Ca	۰٫۳۲	۰٫۳۹	۰٫۳۴	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۳۶	۰٫۳۴	۰٫۳۵	۰٫۳۶	۰٫۳۸
Na	۰٫۶۸	۰٫۶۱	۰٫۶۴	۰٫۷۰	۰٫۶۷	۰٫۶۶	۰٫۶۷	۰٫۶۶	۰٫۶۵	۰٫۶۵
K	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
An	۳۱٫۸۷	۳۸٫۵۳	۳۴٫۵۴	۲۹٫۵۹	۳۴٫۰۱	۳۵٫۰۵	۳۳٫۲۸	۳۴٫۴۵	۳۵٫۶۵	۳۷٫۰۷
Ab	۶۷٫۴۵	۶۱٫۱۷	۶۵٫۱۶	۶۹٫۹۲	۶۵٫۲۴	۶۴٫۷۰	۶۶٫۳۴	۶۴٫۹۳	۶۴٫۱۷	۶۲٫۷۲
Or	۰٫۶۸	۰٫۳۱	۰٫۳۰	۰٫۴۹	۰٫۷۵	۰٫۲۵	۰٫۳۸	۰٫۶۱	۰٫۱۸	۰٫۲۱

ادامه جدول ۳

Zs-3B	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO_2	۶۵٫۷۹	۶۹٫۲۰	۶۸٫۴۶	۶۵٫۳۰	۶۹٫۲۷	۶۹٫۰۶	۶۶٫۱۱	۶۷٫۵۹	۶۶٫۵۷	۶۵٫۵۵
TiO_2	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۴	۰٫۱۰	۰٫۱۲	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۱۷	۰٫۰۵	۰٫۰۰
Al_2O_3	۲۱٫۲۳	۱۸٫۹۹	۱۹٫۶۷	۲۱٫۰۷	۱۹٫۷۷	۱۹٫۲۳	۲۱٫۲۴	۲۰٫۸۹	۲۱٫۱۷	۲۱٫۹۹
Cr_2O_3	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰
Fe_2O_3	۰٫۰۰	۰٫۳۹	۰٫۷۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
FeO	۰٫۴۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۴۴	۰٫۵۵	۰٫۵۵	۰٫۲۲	۰٫۱۶	۰٫۲۹	۰٫۴۷
MnO	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۳
MgO	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۰
CaO	۲٫۲۸	۰٫۲۲	۰٫۲۷	۲٫۱۳	۰٫۲۵	۰٫۳۹	۲٫۱۵	۱٫۶۱	۲٫۰۹	۳٫۲۲
Na_2O	۱۰٫۰۵	۱۲٫۳۲	۱۱٫۶۶	۹٫۷۷	۱۱٫۵۳	۱۱٫۱۹	۹٫۸۹	۱۰٫۴۰	۱۰٫۲۴	۹٫۸۹
K_2O	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۱۷	۰٫۰۳	۰٫۰۸	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰
مجموع	۹۹٫۸۷	۱۰۱٫۲۵	۱۰۱٫۰۷	۹۹٫۱۰	۱۰۱٫۵۲	۱۰۰٫۵۸	۹۹٫۷۵	۱۰۰٫۸۶	۱۰۰٫۴۸	۱۰۰٫۱۵
Si	۲٫۹۱	۲٫۹۸	۲٫۹۷	۲٫۹۱	۲٫۹۹	۳٫۰۲	۲٫۹۳	۲٫۹۵	۲٫۹۲	۲٫۸۶
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al	۱٫۱۱	۰٫۹۶	۱٫۰۰	۱٫۱۱	۱٫۰۱	۰٫۹۹	۱٫۱۱	۱٫۰۸	۱٫۰۹	۱٫۱۳
Fe^{3+}	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۳۰	۰٫۰۲۴۸	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰
Fe^{2+}	۰٫۰۱۴۹	۰٫۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۶۶	۰٫۰۲۰۰	۰٫۰۲۰۰	۰٫۰۰۸۰	۰٫۰۰۵۹	۰٫۰۱۰۶	۰٫۰۱۷۱
Ca	۰٫۱۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۱۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰٫۱۰	۰٫۱۵
Na	۰٫۸۶	۱٫۰۳	۰٫۹۸	۰٫۸۴	۰٫۹۷	۰٫۹۷	۰٫۸۵	۰٫۸۸	۰٫۸۷	۰٫۸۴
K	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
An	۱۱٫۱۱	۰٫۹۹	۱٫۲۷	۱۰٫۶۵	۱٫۲۰	۱٫۸۶	۱۰٫۷۱	۷٫۸۸	۱۰٫۱۲	۱۵٫۲۵
Ab	۸۸٫۶۴	۹۸٫۷۹	۹۸٫۵۳	۸۸٫۳۷	۹۸٫۶۵	۹۷٫۶۶	۸۹٫۱۶	۹۲٫۱۲	۸۹٫۷۲	۸۴٫۷۵
Or	۰٫۲۵	۰٫۲۲	۰٫۲۰	۰٫۹۹	۰٫۱۶	۰٫۴۸	۰٫۱۲	۰٫۰۰	۰٫۱۶	۰٫۰۱

ادامه جدول ۳

Zs-43	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO_2	۶۰٫۷۵	۶۸٫۴۱	۶۰٫۱۴	۶۱٫۳۶	۶۸٫۰۴	۶۰٫۳۵	۶۰٫۶۱	۶۱٫۱۸	۶۰٫۹۰	۶۰٫۳۵
TiO_2	۰٫۱۵	۰٫۰۰	۰٫۰۹	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳
Al_2O_3	۲۴٫۷۲	۲۰٫۰۲	۲۴٫۹۳	۲۴٫۷۵	۱۹٫۸۶	۲۴٫۸۴	۲۴٫۹۷	۲۴٫۳۹	۲۴٫۹۶	۲۴٫۶۶
Cr_2O_3	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۴
Fe_2O_3	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
FeO	۰٫۰۵	۰٫۲۹	۰٫۲۴	۰٫۲۰	۰٫۲۴	۰٫۱۹	۰٫۱۵	۰٫۱۸	۰٫۱۹	۰٫۲۵
MnO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰
MgO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱
CaO	۶٫۶۳	۰٫۷۲	۶٫۷۲	۶٫۳۵	۱٫۰۲	۶٫۷۴	۶٫۷۷	۶٫۵۶	۶٫۸۴	۶٫۸۵
Na_2O	۷٫۹۴	۱۱٫۱۱	۷٫۵۰	۸٫۱۰	۱۰٫۹۸	۷٫۵۹	۷٫۴۵	۷٫۵۷	۷٫۷۸	۷٫۴۶
K_2O	۰٫۱۱	۰٫۱۲	۰٫۱۱	۰٫۱۳	۰٫۱۱	۰٫۱۰	۰٫۱۳	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۱۶
مجموع	۱۰۰٫۳۶	۱۰۰٫۶۷	۹۹٫۷۹	۱۰۰٫۹۸	۱۰۰٫۲۹	۹۹٫۸۵	۱۰۰٫۱۶	۱۰۰٫۰۰	۱۰۰٫۸۲	۹۹٫۸۱
Si	۲٫۷۰	۲٫۹۸	۲٫۶۹	۲٫۷۰	۲٫۹۸	۲٫۷۰	۲٫۷۰	۲٫۷۳	۲٫۶۹	۲٫۷۰
Ti	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al	۱٫۲۹	۱٫۰۳	۱٫۳۱	۱٫۲۹	۱٫۰۲	۱٫۳۱	۱٫۳۱	۱٫۲۸	۱٫۳۰	۱٫۳۰
Fe^{3+}	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe^{2+}	۰٫۰۰۲۰	۰٫۰۱۰۷	۰٫۰۰۹۰	۰٫۰۰۷۵	۰٫۰۰۸۷	۰٫۰۰۶۹	۰٫۰۰۵۵	۰٫۰۰۶۸	۰٫۰۰۷۰	۰٫۰۰۹۴
Ca	۰٫۳۲	۰٫۰۳	۰٫۳۲	۰٫۳۰	۰٫۰۵	۰٫۳۲	۰٫۳۲	۰٫۳۱	۰٫۳۲	۰٫۳۳
Na	۰٫۶۸	۰٫۹۴	۰٫۶۵	۰٫۶۹	۰٫۹۳	۰٫۶۶	۰٫۶۴	۰٫۶۶	۰٫۶۷	۰٫۶۵
K	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
An	۳۱٫۳۸	۳٫۴۱	۳۲٫۹۰	۳۰٫۰۰	۴٫۸۴	۳۲٫۷۳	۳۳٫۱۷	۳۲٫۲۱	۳۲٫۵۲	۳۳٫۳۶
Ab	۶۸٫۰۰	۹۵٫۹۲	۶۶٫۴۴	۶۹٫۲۵	۹۴٫۵۶	۶۶٫۶۹	۶۶٫۰۶	۶۷٫۲۶	۶۶٫۹۴	۶۵٫۷۴
Or	۰٫۶۲	۰٫۶۷	۰٫۶۶	۰٫۷۵	۰٫۶۰	۰٫۵۸	۰٫۷۷	۰٫۶۴	۰٫۵۵	۰٫۹۱

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

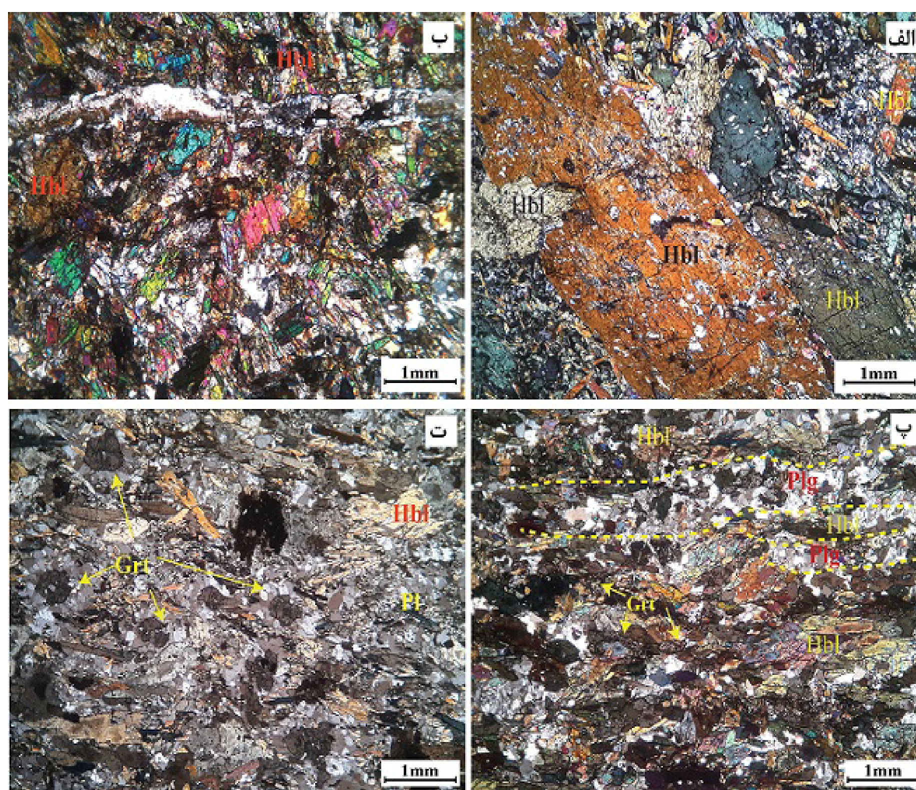
بحث و بررسی

سنگ‌نگاری و شیمی کانی

آمفیبولیت‌ها: هورنبلند و پلاژیوکلاز کانی‌های اصلی در این سنگ‌ها هستند. تیتانیت، زیرکن، کلسیت، اپیدوت و اکسیدهای آهن در مقادیر فرعی حضور دارند. هورنبلند سبز تا قهوه‌ای در اندازه‌های کوچک و بزرگ (در حد ۴ میلی‌متر) در این سنگ‌ها حضور دارد (شکل ۲ الف). پلاژیوکلاز در برخی از نمونه‌ها به کلسیت و اپیدوت ثانویه دگرسان شده است. در آمفیبولیت‌ها، بیشترین مقدار مود سنگ را پلاژیوکلاز (تا ۴۰٪) داراست. هورنبلند سبز تا قهوه‌ای رنگ به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل با میانبارهای فراوان اپیدوت و پلاژیوکلاز در این نمونه‌ها قابل تشخیص است. در برخی نمونه‌ها، رگه‌هایی از کلسیت و کوارتز به صورت ثانویه دیده می‌شود (شکل ۲ ب).

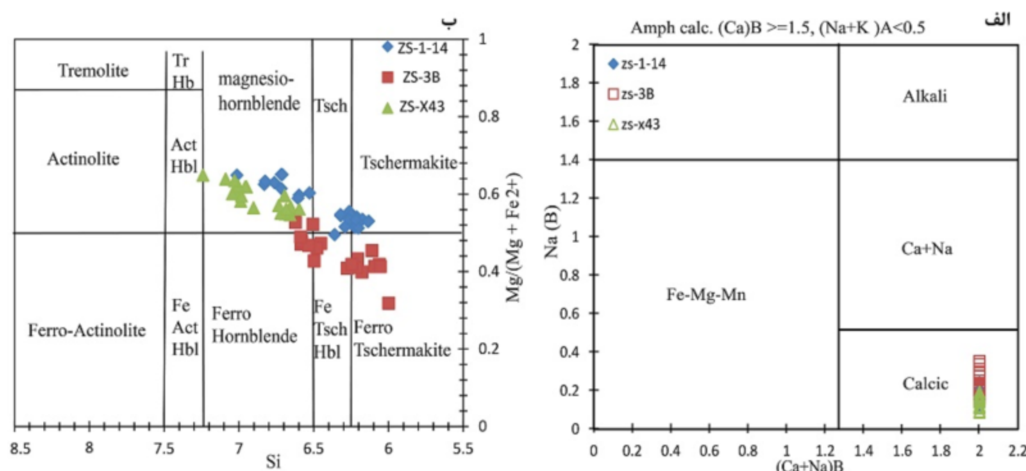
گارنت آمفیبولیت‌ها: کانی‌های تشکیل دهنده اصلی در این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، گارنت هستند و کانی‌های زیرکن، اکسیدهای آهن و بیوتیت در مقادیر فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند. کانی ثانویه مهم تیتانیت است که در لبه روتیل تشکیل شده و نشان دهنده بافت کاهش فشار است. گارنت‌ها بصورت ریزبلور و انباشتی همراه با آمفیبول‌ها دیده می‌شوند (شکل ۲ پ). خطوارگی و نوارهای غنی از آمفیبول و پلاژیوکلاز در این نمونه‌ها وجود دارد (شکل ۲ ت) و بافت‌های نخ شکفتی و شکفته بلوری از معمول‌ترین بافت‌های موجود در این سنگ‌های دگرگونی مافیک هستند.

آمفیبول: فرمول ساختاری آمفیبول بر پایه ۲۳ اکسیژن و ۱۳ کاتیون محاسبه شده است و نتایج تجزیه نقطه‌ای این کانی در جدول‌های ۱ آورده شده است. مقدار کلسیم در آمفیبول‌ها حدود ۰/۹۱ تا a.p.f.u ۱/۸۹ و مقدار سدیم ۰/۲۴ تا ۱/۰۷a.p.f.u در جایگاه هشت وجهی (M^4) است. رده بندی آمفیبول‌ها بر اساس روش مرجع [۲۱] که آمفیبول‌ها را با توجه به نوع عناصر در جایگاه B ساختار بلوری به چهار دسته تقسیم کرده است، انجام شد. آمفیبول‌های مورد بررسی در گروه آمفیبول‌های کلسیمی قرار دارند (شکل ۳ الف). نام گذاری دقیق آمفیبول‌ها، بر پایه نمودار $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ نسبت به Si در جایگاه چاروجهی انجام شده است [۲۱]. چنان که در این نمودار (شکل ۳ ب) دیده می‌شود ترکیب آمفیبول‌های مورد بررسی دارای گستره ترکیبی منیزیو هورنبلند و چرماکیت است.



شکل۲ ف) هورنبلندهای شکل‌دار و منشوری درشت در متن هورنبلندهای ریز و پلاژیوکلاز، ب) رگه‌ای از کلسیت و کوارتز، پ) جهت یافتگی و نوارهای غنی از آمفیبول و پلاژیوکلاز، ت) گارنت‌ها بصورت ریزبلور انباشتی همراه با هورنبلند (در نور، قطبیده متقاطع XPL).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

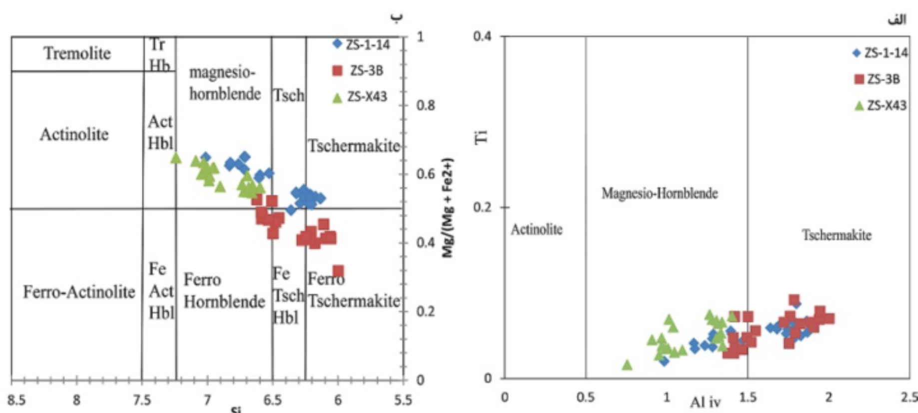


شکل۳ آمفیبول در نمودارهای مرجع [۲۲]: الف) نمودار Na(B) نسبت به B (Ca+Na) و ب) نمودار Mg/(Mg+Fe+2) نسبت به Si .

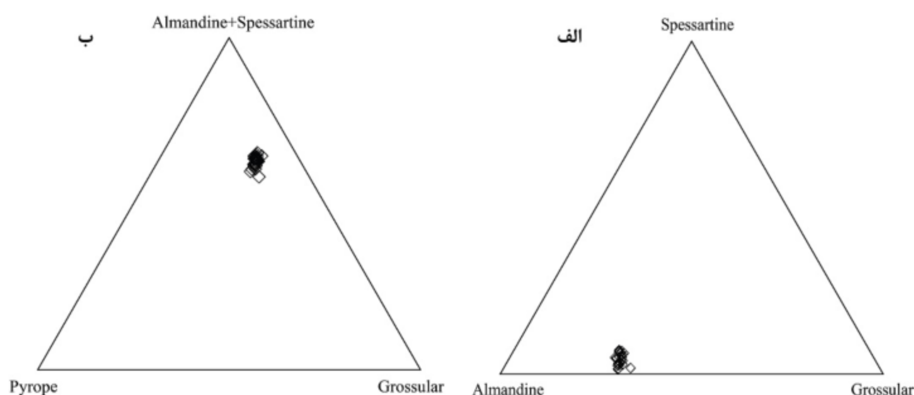
ترکیب آمفیبول‌ها در نمودار Al^{IV} نسبت به Ti [۲۱] دارای گستره ترکیبی منیزیو هورنبلند و چرماکیت است (شکل ۴ الف). همچنین ترکیب آمفیبول‌ها بر پایه نمودار (K+Na) نسبت به Si [۲۲] دارای ترکیب هورنبلند و چرماکیت است و یک نمونه نیز ادنایت را نشان می‌دهد (شکل ۴ ب).

گارنت: نتایج برآمده از تجزیه نقطه‌ای این کانی به همراه محاسبه‌ی فرمول ساختاری برپایه ۸ کاتیون و ۱۲ اکسیژن در جدول ۲ آورده شده است. براین اساس داده‌های فرمول ساختاری در گارنت آمفیبولیت‌های مورد بررسی بصورت Alm (۵۹٫۳۵ -۵۷٫۴۷), Sps (۲٫۵۱-۶٫۵۱), Grs (۲۶٫۴۴ - ۲۴٫۵۴), Prp (۱۰٫۴۰-۱۲٫۶۵) است.

نمودار سه تایی رده‌بندی گارنت‌ها [۲۳] نشان می‌دهد که گارنت‌های تجزیه شده همه ترکیب غنی از آلماندین دارند (شکل ۵).



شکل ۴ رده بندی آمفیبول‌ها بر پایه الف) در نمودار Al^{IV} نسبت به Ti [۲۲] و ب) نمودار (K +Na) نسبت به Si [۲۳].



شکل ۵ الف و ب) ترکیب گارنت‌های مورد بررسی در نمودارهای مثلثی اعضاء نهایی اسپسارتین-پیروپ-آلماندین-گروسولار [۲۴].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

پلاژیوکلاز: نتایج تجزیه نقطه‌ای پلاژیوکلاز بر پایه ۱۲ اکسیژن در جدول‌های ۳ آورده شده است. نتایج تجزیه نقطه‌ای پلاژیوکلاز در آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها بیانگر ترکیب آلبیت تا آندزین آنهاست. درصد و نوع سازنده‌های فلدسپار برای نمونه گارنت آمفیبولیت (ZS-1-14) $An_{29.59-38.53}$ $Ab_{61.17-69.92}$ $Or_{0.18-0.75}$، در نمونه آمفیبولیت (ZS-3B) $An_{0.00-0.99}$ $Ab_{98.79-84.75}$ $Or_{0.99-15.25}$ و برای نمونه‌ی دیگری از آمفیبولیت (ZS-X43) $An_{3.41-33.36}$ $Ab_{95.92-65.74}$ $Or_{0.55-0.91}$ درصد است. با توجه به نزدیکی نمونه‌های برداشت شده در صحرا و در نتیجه درجه دگرگونی یکسان آنها، تفاوت ترکیب شیمیایی پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها را نمی‌توان به تفاوت در درجه دگرگونی نسبت داد. همچنین با توجه به سالم بودن پلاژیوکلاز در نمونه‌های مورد بررسی، تفاوت شیمیایی در اثر دگرسانی بعدی نیست (کیفیت داده‌های ریزپردازشی و مجموع اکسیدهای اصلی نیز این مطلب را تایید می‌کند). به نظر می‌رسد که شیمی سنگ کل و ماهیت متفاوت سنگ مادر موجب تفاوت شیمی پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها شده است.

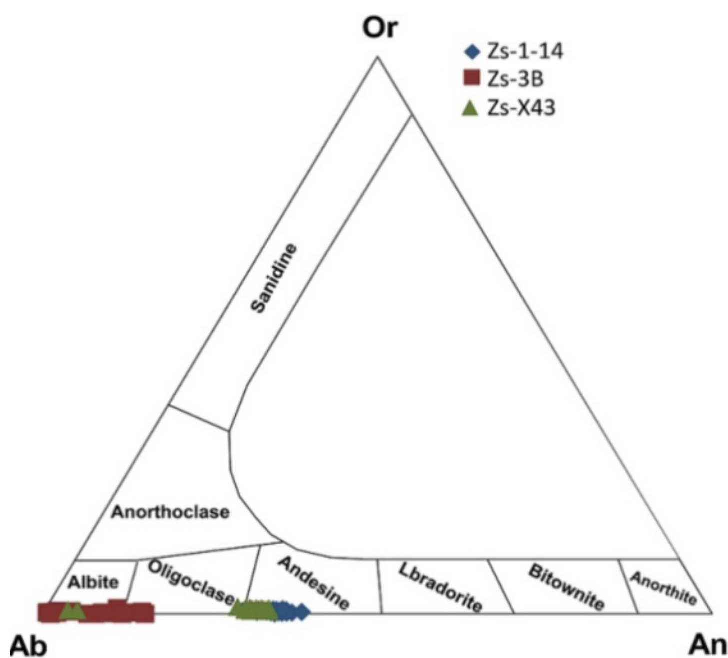
مقدار آنورتیت و آلبیت در ترکیب پلاژیوکلاز وابسته به ترکیب شیمیایی سنگ و تغییرات دماست [۲۴]. گستره ترکیبی پلاژیوکلازها از Or تا An، Ab متغیر است. ترکیب پلاژیوکلازها در نمودار مثلثی آلبیت - آنورتیت - ارتوکلاز [۲۵] در گستره آندزین و آلبیت قرار دارد (شکل ۶).

برآورد دما و فشار تشکیل آمفیبولیت‌ها

هورنبلند، گارنت و پلاژیوکلاز از کانی‌های اصلی در تعادل بافتی در آمفیبولیت‌های مورد بررسی هستند. چند دمافشارسنج برای این سنگ‌ها استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

دماسنجی با استفاده از دماسنج هورنبلند- پلاژیوکلاز: دماسنجی بوسیله‌ی زوج کانی هورنبلند- پلاژیوکلاز همزیست از متداول‌ترین روش‌های محاسبه‌ی دما در متابازیت‌ها به شمار می‌رود. یکی از روش‌های ارائه شده برای زوج کانی هورنبلند و پلاژیوکلاز، بر اساس جانشینی ادنیتی و چرماکیتی در ترکیب آمفیبول‌هاست [۲۶]. این روش سپس دوباره واسنجی شد و با توجه به واکنش‌های الف) آلبیت + ترمولیت = کوارتز۴ + ادنیت و ب) رشیتریت = آلبیت + ادنیت + آنورتیت دو دماسنج مستقل را برای سنگ‌های کوارتزدار و بدون کوارتز ارائه داد [۲۷].

از آنجاکه کوارتز در نمونه‌های متابازیت مجموعه بسیار کم است، از معادله ب، در محاسبات استفاده شد. با استفاده از این روش، بیشینه و کمینه‌ی دماهای بدست آمده در فشار ۲ کیلوبار، ۵۴۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و در فشار ۸ کیلوبار، ۵۷۵ درجه‌ی سانتیگراد بود. بنابراین با توجه به اینکه در تغییرات فشاری، دما تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد، تغییرات دما مستقل از فشار و قابل قبول است.



شکل۶ موقعیت ترکیبی پلاژیوکلازها در نمودار آلبیت-آنورتیت-ارتوکلاز [۲۵].

جدول۴ دمافشارسنجی‌های مختلف در آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت‌ها.

Zs-1-14	Zs-3B	ZS-X43
گارنت آمفیبولیت	آمفیبولیت	آمفیبولیت
زمین دماسنج		
[۲۸] Grt-Plg [۲۹] T=580.50 T= 513.16 ˚C		
5<P<16kbar, 515<T(°C)<1025 [۳۰] Grt-Hbl		
T (˚C)=599.97 T (˚C)=601.33		
[۲۶] Hbl-Plg p=3kbar T=861.89 ˚C	[۲۶] Amp-Plg p=3kbar T= 800.33 ˚C	[۲۶] Amp-Plg p=3kbar T= 600.92 ˚C
[۲۶] Hbl-Plg p=5kbar T= 829.16 ˚C	[۲۶] Amp-Plg p=5kbar T= 769.38 ˚C	[۲۶] Amp-Plg p=5kbar T= 669.92 ˚C
Ti in Amp Otten (1984)		
شرایط استفاده از این واسنجی: T<970˚C T (˚C) = 1204*(Ti)+545		
T (˚C) = 617.24	T (˚C) = 581.12	T (˚C) = 605.2
زمین فشارسنج		
Al in Hbl		
P (±3 kbar) = 10.82 [۳۱]	P (±3 kbar) = 8.40 [۳۱]	P (±3 kbar) = 6.64 [۳۱]
P (±1 kbar)=11.77 [۳۲]	P (±1 kbar)=9.06 [۳۲]	P (±1 kbar)=7.08 [۳۲]
[۳۳] P av (kbar)=8.93 P max (kbar)=9.55 P min (kbar)= 8.31	[۳۳] P av (kbar)=6.90 P max (kbar)=7.46 P min (kbar)= 6.35	[۳۳] P av (kbar)=5.42 P max (kbar)=5.94 P min (kbar)= 4.91
Grt-Amp-Plg		
T=600 ˚C [۳۶] Amp model 1 P (kbar) = 11.64 Ln kd-mg= -5.904 P(kbar)=7.73 Ln kd-fe= -1.514 [۳۶] Amp model 2 P(kbar) = 12.61 Ln kd-mg= -3.560 P(kbar) = 6 Ln kd-fe= 1.292 [۳۶] P(kbar) = 9.02 Ln kd-mg= -0.810 P(kbar) = 9.55 Ln kd-fe= 9.55		

دماسنجی با استفاده از گارنت-پلاژیوکلاز: دماسنجی بوسیله‌ی زوج کانی گارنت- پلاژیوکلاز همزیست [۲۹،۲۸]، دماهای ۵۱۳-۵۸۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد.

دماسنجی با استفاده از گارنت-هورنبلند: دمای محاسبه شده با دماسنجی توسط زوج کانی گارنت- هورنبلند همزیست [۳۰] ۶۰۰ درجه سانتیگراد است.

فشار سنجی آمفیبولیت‌های منطقه

برآورد فشار برای سنگ‌های دگرگونی منطقه به علت نبود همبری کانیایی مناسب در سنگ‌های دگرگون شده مشکل است. فشارسنج آلومینیوم در هورنبلند برای سنگ‌های گرانیتوئیدی آهکی قلیایی واسنجی شده است [۳۱-۳۳]. برخی از پژوهشگران این فشارسنج را برای سنگ‌های دگرگونی بکار برده‌اند. با استفاده از این فشارسنج، نمونه‌های مورد بررسی فشار ۵ تا ۱۱٫۵ کیلو بار را برای واسنجی‌های مختلف نشان می‌دهند.

فشارسنجی برپایه مقدار آلومینیم کل موجود در آمفیبول: مقدار آلومینیم کل موجود در آمفیبول برای برآورد فشار استفاده شده است. معادله‌های زیر بر اساس مقدار آلومینیم کل موجود در آمفیبول به دست آمده‌اند، زیرا مقدار آلومینیم موجود در ساختار آمفیبول، رابطه‌ی مستقیمی با تغییرات فشار دارد [۳۴].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

الف) معادلـه $P\ (\pm 0.6\ kbar) = -3.01 + 4.76\ Al_t$ [۳۱] کـه براساس آن میانگین فشار بدست آمده برابـر ۸٫۹۶±۰٫۶ کیلوبـار است.

ب) معادله‌ی ارائه شده توسط اندرسون و اسمیت [۳۵]:

$$P(\pm 0.6\ kbar) = 4.76\ Al_t - 3.01 - \{[(T°C) - 675]/85\}\times\{0.530\ Al+0.005294[T(°C)- 675]\} \quad (۱)$$

که وابسته به دما، فشار و گریزندگی اکسیژن است و بـر اسـاس آن، میانگین فشار برابر بـا ۰٫۶ ± ۹٫۲۳ کیلوبـار بـرای میـانگین دمای ۵۲۰٫۴۰ درجه‌ی سانتیگراد به دست آمد. دمای مورد نیاز برای این معادله، از روش دماسنجی مرجع [۳۵] بدست آمد.

معادله‌ی $P\ (\pm 3\ kbar) = -3.92 + 5.03\ Al_t$ [۳۱] که در آن، مقدار آلومینیم کل به عنوان پارامتری مهم در نظر گرفته شـده است. بر اساس این معادله، میـانگین فـشار بدسـت آمـده بـرای آمفیبول در آمفیبولیت‌هـای مـورد بررسـی، ۳ ± ۸٫۴۵ کیلوبـار است.

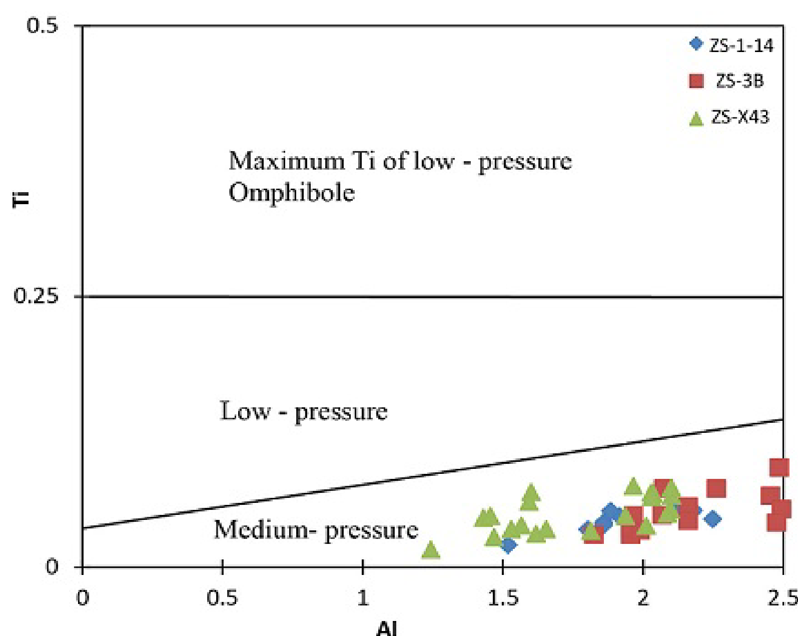
معادلـه‌ی $P(\pm 1kbar) = -4.76 + 5.64\ Al_t$ [۳۲] : کـه بـر اساس آن و مقدار آلومینیوم کل موجـود در سـاختار آمفیبـول، میانگین فشار بدست آمده برابر با ۱ ± ۹٫۱۱ کیلوبار است.

معادله‌ی $P\ (\pm 0.5\ kbar) = -3.46 + 4.23\ Al_t$ [۳۳] : که بـر اساس آن مقدار میانگین فشار ۰٫۵ ± ۶٫۹۴ کیلوبار بدست آمـد. مقـادیر دمـا و فـشار بدسـت آمـده از معـادلات مختلـف بـرای آمفیبول‌های مورد بررسی تقریبا مشابه هستند.

فشارسنجی گارنت-آمفیبول-پلاژیوکلاز: با استفاده از تعادل بین گارنت-آمفیبول-پلاژیوکلاز [۳۶] در دمای طبیعی فرضـی ۶۰۰ درجـه سـانتیگراد، فـشار ۹ تـا ۹٫۵ کیلـو بـار بـرای دگرگـونی آمفیبولیت‌های مورد بررسی به دست آمد.

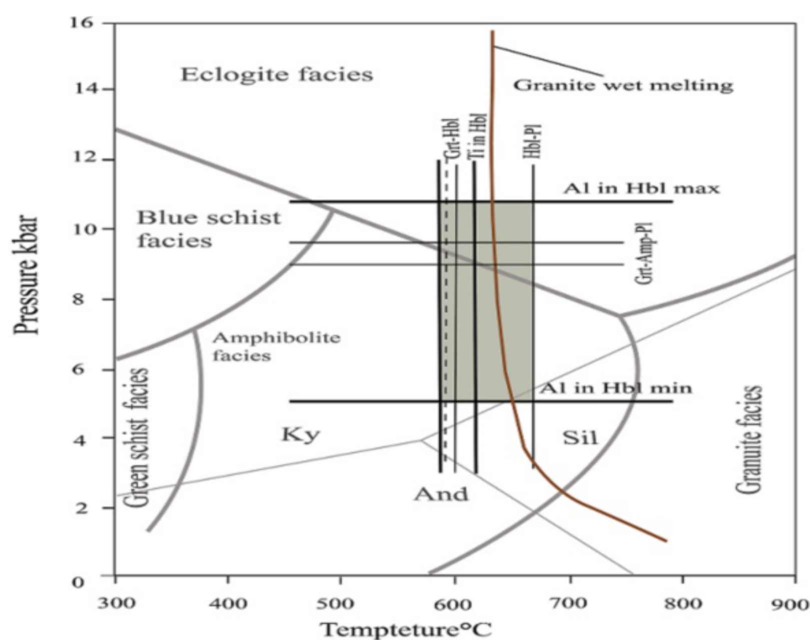
فشار سنجی با استفاده از نمودار Ti نسبت بـه Al_t: از روش-های دیگر برای برآورد دما و فشار تشکیل متابازیت‌ها، تغییـرات عنصر Ti نسبت به Alt است [۳۷]. بر این اساس، هرچه فـشار بالاتر باشد، مقدار تیتانیوم موجود در آمفیبول‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به این امر، آمفیبول‌های مورد بررسی در آمفیبولیت‌های مجموعـه دگرگـونی اللهیـارلو از آمفیبـول‌هـای فـشار متوسـط هستند (شکل ۷).

فشار و دمای برآورد شـده بـرای نمونـه‌هـا در نمـودار P-T (شکل ۸) نشان داده شده است؛ گستره رخساره توسـط سـودی اجیرلو و موذن [۳۸] ارائه شده است. فشار متوسط ۸ کیلوبـار و دمای متوسط حدود ۶۰۰ درجـه سـانتیگراد را مـی‌تـوان بـرای دگرگونی‌های منطقه در نظر گرفت. این دما و فشار نزدیـک بـه سری P/T متوسط بوده که مربوط بـه دگرگـونی نـوع بـاروویـن است و با مناطق ضخیم شدگی پوسته‌ای ماننـد جزایـر قوسـی، جزایر آتشفشانی و یا مناطق برخورد همخوانی دارد.



شکل ۷ نمودار Ti نسبت به Al_t [۳۷]، که براساس آن آمفیبول‌های مورد بررسی از انواع آمفیبول‌های فشار متوسط هستند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]



شکل۸ فشار و دمای برآورد شده برای نمونه‌های دگرگونی مورد بررسی. گستره رخساره توسط [۳۸] ارائه شده است.

برداشت

آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها به صورت توده‌های کوچک در مجموعه دگرگونی- افیولیتی اللهیارلو رخنمون دارند. این سنگ‌ها با توجه به داشتن مقادیر زیادی آمفیبول و پلاژیوکلاز و مقادیر کم کوارتز و نبود کانی‌های رسوبی مانند کلسیت دارای خاستگاه آذرین و بافت نخ شکفتی و شکفته بلوری هستند. کانی‌های اصلی در آمفیبولیت‌ها شامل پلاژیوکلاز و هورنبلند هستند و کانی‌های زیرکن، اکسیدهای آهن و بیوتیت در مقادیر فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند. گارنت آمفیبولیت‌ها افزون بر این کانی‌ها دارای گارنت نیز هستند. آمفیبول‌های مورد بررسی از نوع آمفیبول‌های کلسیمی بوده و دارای گستره ترکیبی منیزیو هورنبلند و چرماکیت هستند. ترکیب پلاژیوکلاز دارای گستره آندزین و آلبیت است. در گارنت آمفیبولیت‌ها، گارنت ترکیب غنی از آلماندین دارد. آمفیبول‌های مورد بررسی در آمفیبولیت‌های مجموعه دگرگونی اللهیارلو از آمفیبول‌های فشار متوسط هستند. فشار متوسط ۸ کیلوبار و دمای متوسط حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد می‌تواند برای دگرگونی‌های منطقه در نظر گرفته شود که با روند دگرگونی بارووین P/T متوسط مناطق ضخیم شدگی پوسته‌ای و یا مناطق برخورد همخوانی دارد. وجود واحدهای افیولیتی در منطقه می‌تواند نشانگر تشکیل یک پوسته اقیانوسی در باریکه اقیانوسی در شمال غرب ایران باشد. با توجه به نبود داده‌های سنی نمی‌توان در مورد اینکه سنگ‌های افیولیتی مربوط به تتیس کهن و یا تتیس جوان هستند نظر داد. اما به دلیل نبود سنگ‌های دگرگونی فشار بالا و دمای پایین شاخص پهنه‌های فرورانشی، به نظر می‌رسد که این باریکه اقیانوسی به احتمال زیاد بدون فرورانش بسته شده است و در اثر برخورد قاره‌ای یا ضخیم شدگی پوسته‌ای در یک محیط قوس آتشفشانی و یا جزایر قوسی، آمفیبولیت‌های مورد بررسی در اینجا تشکیل شده‌اند.

مراجع

[1] Babakhani A. R., Nazer N. H., *"Lahrud geological map*" Geological Survey of Iran (1991).
[2] Stöcklin J., *"Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and Central Asia*", Memoire Hors-Serve (1977) 8, 333-353.
[3] Stampfli G.M., *"Etude géologique générale de l'Elbourz oriental au sud de Gonbad-e-Qabus (Iran NE)*" [Ph.D. thesis]: (1978) Université de Genève, 329 p.
[4] Berberian M., King G., *"Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran"*, Canad. J. Earth Sci (1981) 18, 210-265.
[5] Boulin J., *"Hercynian and Eocimmerian events in Afghanistan and adjoining regions, Tectonophysicsc"*, (1988) 148: 253-278.
[6] Sengör A.M.C., *"A new model for the late Paleozoic–Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman. In: Robertson, A.H., Searle, M.P., Ries, A.C. (Eds.), The Geology and*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

15th Congress of Geological Survey of Iran, Urmia University (2010) (In Persian).

[16] Morris D. P. W., M. Lewis JR., *"Phytoplankton nutrient limitation in Colorado mountain lakes"*, Freshwater Biol (1988) 20: 3 15-327.

[17] Ilnicki S., *"Variscan prograde P-T evolution and contact metamorphism in metabasites from the Sowia Dolina, Karkonosze-Izera massif, SW Poland"*, Mineralogical Magazine (2011) Vol. 75(1),pp. 185–212.

[18] Sudi Ajirlu M., Moazzen M., *"Role of the Allahyarlu ophiolite in the tectonic evolution of NW Iran and adjacent areas (Late Carboniferous – Recent) "*, Central European Geology (2014) 57(4:) 363–383.

[19] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals*", American Mineralogist (2010) 95 185–187.

[20] Droop G.T.R., *"A general equation for estimating Fe3+ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses using stoichiometric criteria*", Mineralogical Magazine (1987) 51 431–435.

[21] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whitaker E.J.W., Youzhi G., *"Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names"* Mineralogical Magazine (1997) 61 295–321.

[22] Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferraris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N. and Whittaker E.J.W., *"Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature*", American Mineralogist (2004) 89, 883– 887.

[23] Coleman R. G., Lee D. E., Beatty L. B., Brannock W. W., *"Eclogites and eclogites: their differences and similarities*", Geological Society of America Bulletin (1965) 76, 483-508.

[24] Goldsmith J. R., *"Review of the behavior of plagioclase under metamorphic conditions",* American Mineralogist (1982) 67, 643-652.

tectonics of the Oman region", Geological Society Special Publication (1990) 49: 797 –831.

[7] Galoyan G., Rolland Y., Sosson M., Corsini M., Billo S., Verati C., Melkonyan R., *"Geology, geochemistry and 40Ar/39Ar dating of Sevan Ophiolite (Lesser Caucasus, Armenia): Evidences for Jurassic Back-arc opening and hot spot event between the South Armenian Block and Eurasia",* Journal of Asian Earth Sciences (2009) 34, pp. 135–153.

[8] Eftekhar-Nezhad J., Behrozi A., *"Geodynamic significance of recent discoveries of ophiolites and Late Palaeozoic rocks in NE-Iran (including Kopet Dagh)"*, Abh. Geol. A.B. Wien (1991) 89-100.

[9] Shafaii moghadam H., Stern R., *"Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia: (I) Paleozoic ophiolites"*, (2014) 20P.

[10] Omrani H., Moazzen M., Oberhansli R., Tsujimori T., Bousouet R., Moayyed M., *"Metamorphic history of glaucophane–paragonite–zoisite eclogites from the Shanderman area, northern Iran"*, J. Met. Geol (2013) 31, 91–812.

[11] Rossetti F., Monié P., Nasrabady M., Theye T., Lucci F., Saadat M., *"Early Carboniferous subduction-zone metamorphism preserved within the Palaeo-Tethyan Rasht ophiolites (western Alborz, Iran)",* J. Geol. Soc. Lond (2017). Doi.org/10.1144/jgs2016-130.

[12] Stampfli G. M., Borel G. D., *"A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons"*, Earth and Planetary Science Letters, (2002) v. 196, p. 17–33.

[13] Topuz G., Altherr R., Siebel W., Schwarz W. H., Zack T., Haso¨zbek A., Barth M., Satır M., Sen C., *"Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gu¨mu¨shane pluton (NE Turkey)"*, Lithos (2010) v. 116, n. 1–2, p. 92–110.

[14] Moazzen M., Alchalan S., Hajialioghli R., Morishita T., Rezaei, *"Ophiolitic peridotites from the Western Khoy phiolitic complex, NW Iran; Petrological and geochemical characteristics and application for connecting the Baft-Khoy and IzmirAnkara-Erzincan sutures"*, Proceedings of International Earth Science Colloquium on the Aegean Region M (2012) p9.

[15] Barzegar A., Pourkermani M., *"Structural evolution of folded zone of Allahyarlu in western Alborz"*, 21st Congress of Geological Sciences and

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.13.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.185]

empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons" , American Mineralogist (1987) 72 231-239.

[33] Johnson M.C., Rutherford M.J., *"Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks",* Geology (1989) 17 837-841.

[34] Schmidt M.W., *"Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al in hornblende barometer",* Contributions to Mineralogy and Petrology (1992) 110: 304-310.

[35] Anderson J. L., Smith D. R., *"The effects of temperature and fO2 on the Al-inhornblende barometer"*, American Mineralogist (1995) 80: 549-559.

[36] Kohen M.J., Spear F.S., *"Two new geobarometers for garnet amphibolites with applications to southeastern Vermont"*, American Mineralogist (1990 75, 89-96.

[37] Hynes A., *"A comparison of amphiboles from medium and low pressure metabasites",* Contributions of Mineralogy and Petrology (1982) 81 119-125.

[38] Spear F.S., *"Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths",* Mineralogical Society of America Washington (1995), 799 pp.

[25] Deer W.A., Howie R.A., Zussman Jan., *"Introduction to the Rock-forming Minerals, 2nd edition*", Longman Scientific and Technical, Harlow, (1992) 696 p.

[26] Blundy J.D., Holland T.J.B., *"Calcic amphibole equilibria and a new amphibole plagioclase geothermometer*", Contributions to Mineralogy and Petrology, (1990) 104: 208–224.

[27] Holland T., Blundy J., *"Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole –plagioclase thermometry*", Contrib. Mineral. Petr (1994) 116: 433–447.

[28] Graham C.M., Powell R., *"A garnet-hornblende geothermometer: calibration, testing, and application to the Pelona Schist, southern California*", Journal of Metamorphic Geology (1984) 2, 13–31.

[29] Perchuk L. L., Aranovich L. Ya., Podlesskii K. K., et al., *"Precambrian granulites of the Aldan shield, eastern Siberia*", USSR. Journal of Metamorphic Geology (1985) 3, 265–310.

[30] Krogh R. E., "*The garnet-clinopyroxene* Fe^{2+}–*Mg geothermometer: An updated calibration*", Journal of Metamorphic Geology (2000) 18, 211–219.

[31] Hammarstrom J.M., Zen E., *"Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer",* American Mineralogist (1986) 71: 1297-1331.

[32] Hollister L.S., Grissom G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B., *"Confirmation of the*